山地软弱地基光伏支架基础施工工艺与质量控制技术探析

刘释琦

中国水利水电第十一工程局美洲分局 河南 郑州 450001

【摘　要】：为保障山地软弱地基条件下光伏支架基础施工质量，避免支架后期使用过程中发生倾斜、基础失稳等工程问题，本文探究适配山地复杂工况的光伏支架基础施工工艺与质量控制技术。采用现场地质勘察、工艺优化、全过程质量管控及工程实证分析方法，梳理山地软弱地基工程特性，优化地基预处理、桩基施工及支架安装成套施工工艺，构建前期防控、过程动态监管、后期验收养护的全链条质量控制体系。工程应用表明，优化工艺可有效提升软弱地基基础承载力，将基础沉降偏差、支架安装误差控制在规范允许范围内。研究结论可为山地软弱地基光伏工程标准化施工、质量隐患防控及结构安全保障提供可靠的技术参考。

【关键词】：山地工程；软弱地基；光伏支架；基础施工；质量控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.040

引言

近些年国家高度重视双碳战略发展目标，能源结构逐步向着绿色低碳方向转型，同时不断出台配套扶持政策，引导光伏等可再生能源产业规模化、高质量发展。山地光伏发电项目作为新能源开发的一种重要形式，有效盘活山地闲置土地资源，规避与耕地、林地资源的用地冲突。但山地场地多分布坡积土、淤泥质软土等软弱土层，地质条件复杂、土体稳定性差，相较于平原硬质地基，光伏支架基础施工极易出现沉降、塌孔、结构偏移等质量缺陷，直接影响光伏电站运行安全与服役年限。当前常规光伏施工工艺与质控标准多适配平原场地，针对山地软弱地基的专项施工技术体系较为欠缺。基于此，本文结合山地地质工况特点，优化全套施工工艺，细化全过程质量控制技术，依托工程实例验证技术可行性，为同类山地光伏工程施工提供技术支撑。

1 山地软弱地基特征

山地软弱地基通常包含坡积软土、残积土、粉质黏土及淤泥质土层，具备高压缩性、低承载力、低抗剪强度的典型力学特征。该类土体结构松散、孔隙率大，天然含水率普遍偏高，遇水极易软化、流变，导致地基承载能力大幅下降，若不提前采取科学有效的处理对策，势必会给光伏基础施工作业造成很大的阻碍，甚至大幅降低工程建设质量，缩短后期整体施工年限[1]。同时山地地形起伏较大，场地坡度不均，土层分布存在显著的空间差异性，极易造成基础受力不均，引发不均匀沉降问题。此外，山地场地排水条件较差，雨水易积聚浸润地基土体，进一步加剧土体压缩变形，施工中易出现塌孔、桩体偏移、基础倾覆等隐患，对光伏支架基础的施工精度和结构稳定性提出更高技术要求。

2 山地软弱地基光伏支架基础施工工艺

2.1 施工前期准备工作

只有做好施工前期各项准备工作，才能保障后续山地软弱地基光伏基础施工的有序高效推进，具体可从以下几个方面着手：首先，组织专业人员认真开展专项地质勘察，采用原位测试与取样试验结合的方式，精准检测场地土层厚度、地基承载力、地下水埋深及土体含水率，结合光伏阵列排布优化基础点位，避开滑坡、积水洼地等危险区域[2]。其次，整理场地，清除施工区域杂草、碎石及表层腐殖软土，依据地形修筑临时排水沟槽，阻断雨水浸泡基底。同时结合地质参数编制专项施工方案，明确地基预处理、桩基施工、支架安装的技术参数及应急措施。最后，调试校准钻机及压实设备，检验原材料，并严格检测钢筋、桩体、混凝土原材料性能，同步完成施工人员专项技术交底。

2.2 地基预处理施工工艺

由于山地软弱地基承载力严重不足，若不加以处理很容易发生沉降变形问题，这就需要施工人员采用适配性强的组合预处理工艺，全方位优化基底土体性能。一般而言，表层软弱土层较薄区域采用换填垫层工艺，彻底清除表层松散软土、腐殖土，分层回填级配碎石与粗砂混合料，每层铺设厚度控制在 200 至 300mm，采用小型振动压路机分层碾压，压实系数严格控制在 0.95 以上[3]。土层含水率超标区域采用排水固结预处理，在施工场地布设纵向、横向排水盲沟，搭配透水软管导出地下水，晾晒风干降低土体含水率，提升土体密实度[4]。深层软弱土层区域采用浅层夯实工艺，通过冲击夯实设备对基底土体反复夯实，消除土体孔隙、压缩空隙。还需注意的是，整个处理过程还需动态检测地基承载力、土体密实度等关键指标，如下表 1，确保基底参数满足光伏基础施工设计要求，从源头

规避后期沉降变形问题。

表 1 地基预处理关键检测指标及控制要求

序号	检测项目	单位	控制要求值	备注
1	地基承载力特征值	kPa	满足光伏基础设计要求	按设计图纸取值，不得低于设计值
2	压实系数	/	≥0.95	换填垫层区域，分层检测
3	土体含水率	%	最优含水率±2%	排水固结、夯实区段，含水率过高需晾晒处理
4	换填垫层分层厚度	mm	200～300	级配碎石+粗砂混合料，分层摊铺碾压
5	垫层总沉降量	mm	满足设计允许沉降值	地基完工后观测，控制后期不均匀沉降
6	夯实后土体孔隙比	/	符合设计要求	浅层冲击夯实区域，孔隙显著压缩

2.3 主流支架基础专项施工工艺

基于山地软弱地基地质特性，当前山地软弱地基光伏支架基础工程常见的施工工艺主要包括螺旋桩基础与微型灌注桩基础两类，分别适配不同软弱土层工况，施工流程也存在较大差异，核心工艺适配性如下表 2 所示。两类基础均针对软弱地基易塌孔、承载力不足的问题优化施工参数，规避常规施工的质量缺陷，保障基础结构稳定性。

表 2 螺旋桩基础与微型灌注桩基础施工工艺

基础类型	核心施工流程	适配地质工况	施工技术要点
螺旋桩基础	定位放线→钻机就位→匀速旋入→垂直度校正→桩深核验→桩体固定	浅层软土、含水率适中、无大块孤石山地场地	低速匀速旋入，避免土体扰动，实时校正垂直度，桩深偏差控制在±50mm 内
微型灌注桩基础	点位放样→护筒埋设→钻孔成孔→清孔验孔→钢筋笼安装→混凝土浇筑振捣	深层软土、高含水率、地基承载力极差山地场地	采用泥浆护壁防塌孔，彻底清孔，连续浇筑混凝土，杜绝断桩、夹渣问题

2.4 支架安装配套施工工艺

待光伏支架基础工程养护达标、承载力检测合格后，施工人员便可开始安装光伏支架配套设施，安装期间必须严格把控具体安装精度，保障整体结构稳定性。首先，施工前工作人员应再次复核基础桩位、标高及垂直度，对存在轻微偏差的基础进行微调校正，确保基底受力均匀[5]。其次，按照先立柱、后横梁、再斜撑的顺序分层安装，严格把控构件对接精度，螺栓连接采用分次紧固工艺，杜绝虚接、松动问题。同时结合山地坡面坡度精准调整支架倾角，保障光伏组件受力均衡、排布规整。安装过程中全程把控关键参数，支架立柱垂直度偏差不大于 1‰，支架间距偏差控制在±10mm 以内。此外，单组支架安装完成后，及时进行整体校正与加固，检查结构抗滑移、抗倾覆性能，避免因地基微量沉降引发支架变形，完成整片光伏阵列支架的标准化安装。

3 山地软弱地基光伏支架基础施工质量控制技术

3.1 施工前期质量控制

首先，安排专人严格审核地质勘察成果，核查土层参数、地下水分布、地基承载力等核心数据，确保勘察结果贴合现场实际，为方案编制提供精准依据。其次，专项审核施工方案，重点核查地基预处理方式、基础选型、施工参数及应急预案，针对山地软弱地基施工难点优化技术条款，杜绝通用方案套用问题。同时落实原材料与设备质量管控，抽样送检混凝土、钢筋、螺旋桩等原材料，不合格材料严禁进场；并调试校准施工钻机、压实设备、检测仪器，保障设备精度。最后开展针对性技术交底，明确软弱地基施工的质控标准、操作规范及风险点，提升施工人员技术把控能力。

3.2 施工过程动态质量控制

具体施工过程中，还需实行全工序动态质控、实时监管机制，尤其要重点把控软弱地基施工易出问题的工序。如，地基预处理阶段，全程监督换填厚度、碾压次数、夯实密实度，逐段检测地基承载力，不合格区域立即返工补强。桩基施工阶段，严控桩位、桩深、垂直度等核心参数，软弱土层成孔时降低施工速度，采用泥浆护壁实时防护，杜绝塌孔、缩径问题；混凝土浇筑全程连续作业，严控浇筑高度与振捣密度，防止出现蜂窝、断桩缺陷[6]。支架安装阶段，实时监测安装精度，动态校正构件偏差，全程检查螺栓紧固质量与结构连接稳定性。同时落实隐蔽工程全过程验收，每道工序完工后需经检测核验合格，方可进入下一道施工环节，留存完整施工与检测资料。

3.3 施工后期验收与养护质量控制

施工后期养护与验收是保障基础结构成型质量、提升耐久

性的关键环节，具体需注意：首先，基础施工完成后，工作人员应结合山地温差大、风力强、雨水多的环境特点制定专项养护方案，混凝土基础养护周期不少于 7d，及时覆盖保湿，避免暴晒、雨水冲刷引发开裂、起砂问题，养护期间禁止荷载施压、设备碾压。其次，养护达标后全方位验收工程质量，重点检测基础沉降量、承载力、桩体完整性及支架安装精度，复核结构抗倾覆、抗滑移性能[7]。此外，严格对照行业规范与设计标准逐项核验，梳理质量缺陷并闭环整改，完善验收台账、隐蔽工程资料、检测报告等归档工作，确保工程质量达标，满足光伏电站长期运行要求。

4 工程实例应用分析

4.1 工程概况

某山地光伏电站项目总装机容量 20MW，施工场地地形起伏较大，坡度集中在 8°至 25°。场地表层为厚度 1.5 至 3.0m 的坡积软土，土体含水率高、承载力低，属于典型山地软弱地基，施工易发生不均匀沉降、桩基塌孔等问题。项目采用螺旋桩与微型灌注桩组合基础形式，配套钢制光伏支架，施工核心难点为软弱地基加固质控、桩基施工防扰动及支架高精度安装。

4.2 施工工艺与质量控制方案落地应用

为保障项目最终施工效果满足要求，本项目全程采用本文优化的施工工艺与质控体系，结合场地地质分区差异化施工。针对浅层软土区域采用螺旋桩施工，低速旋入、实时校正垂直度；深层软弱土层区域采用微型灌注桩施工，搭配泥浆护壁工艺规避塌孔隐患。地基预处理采用换填夯实+排水固结组合工艺，有效提升基底密实度与承载力。与此同时，施工全过程落实三级质控模式，前期严格筛查材料与施工方案，施工中动态监测每道工序参数，重点管控桩基成孔、混凝土浇筑、支架安装精度。施工后期落实专项养护制度，定时观测基础沉降变形，对施工偏差及时微调整改，全程留存检测数据与施工影像，保障整套工艺与质控措施标准化落地。

4.3 应用效果分析

本项目整个施工过程优化各工序施工工艺，并严格把控各环节施工质量，最终显著提升了工程整体施工质量，各项核心指标均优于传统施工工艺，有效解决了山地软弱地基施工的质量难题，具体指标对比结果如下表所示。项目施工全过程无塌孔、基础开裂、支架失稳等质量问题，基础沉降均匀、结构稳定性良好，一次性验收合格率达 100%，如下表 3。

表 3 传统施工工艺与优化后的施工工艺对比分析

检测指标	传统施工工艺	本文优化施工工艺	规范允许偏差
基础沉降偏差	±3.5mm	±1.2mm	≤±3.0mm
桩基垂直度偏差	1.8‰	0.6‰	≤1.0‰
支架安装间距偏差	±18mm	±6mm	≤±10mm
施工合格率	92.3%	100%	≥95%

5 结语

综上所述，本文基于山地软弱地基特点，分析该地区光伏支架基础施工难点，优化形成适配该工况的光伏支架基础成套施工工艺，构建全流程精细化质量控制体系，明确地基预处理、桩基施工、支架安装的核心技术要点与质控标准。通过工程实例验证，该工艺与质控技术可有效降低地基沉降、施工偏差等质量问题，大幅提升山地光伏基础施工质量与结构稳定性。研究成果可有效解决山地软弱地基光伏施工的技术痛点，可为同类新能源山地工程施工提供技术借鉴，对推动山地光伏工程标准化、高质量施工具有积极的工程价值。

参考文献：

[1] 张海全,王兵,翁邦正,等.沙漠地区光伏支架 PHC 管桩基础施工技术研究[J].工程建设与设计,2026,(14):88-90.

[2] 刘春海,张轩,王炜贵,等.山地光伏发电项目桩基及支架精细化施工技术[J].工程建设与设计,2025,(22):121-123.

[3] 廖重阳,杨逊,温馨昀.光伏发电工程固定支架微孔灌注桩基础施工技术研究[J].科技资讯,2025,23(20):160-162.

[4] 王玉林.光伏支架基础微型灌注桩施工质量控制技术研究[J].工程建设与设计,2025,(19):175-177.

[5] 王波涛.光伏组件安装施工中的抗风性能优化分析[J].产品可靠性报告,2025,(9):248-250.

[6] 廖治中,邓明玉.山地柔性光伏支架设计与施工方案[J].工程建设与设计,2025,(15):154-156.

[7] 魏刚,唐勇,王炜贵,等.山地光伏支架基础微型灌注桩关键施工技术研究[J].工程建设与设计,2025,(8):159-161.